



Pembuatan Paku Payung Panjang 50 mm, Diameter 2,5 mm, Tebal Pelat Payung 1,2 mm Kapasitas 300 Biji/Jam

Muhammad Faza Kamil¹, Syamsul Hadi^{2*}, Ulil Albab Abdillah³, Faiqur Rizal Fajriminallah⁴, Jason Andreas Hudi Prayoga⁵

^{1,3,4,5}Program Studi D-IV Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

²Program Studi Doktor Terapan Optimasi Desain Mekanik, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Email: muhamadfazakamil@gmail.com¹, syamsul.hadi@polinema.ac.id², ulilalbababdillah09@gmail.com³, faiqurrizal.05@gmail.com⁴, jasonandreas333@gmail.com⁵

*Penulis Korespondensi: syampol2003@yahoo.com

Abstract. *The problem lies in the quality of the umbrella nails for asbestos or zinc roofs which often experience damage to the nail head is not large enough, the tip of the nail is blunt, thus damaging the roof material, and susceptibility to corrosion due to weather, and slow manual production. The purpose of making is to obtain umbrella nails with a length of 50 mm and a diameter of 2.5 mm which are strong, pointed tips, relatively fast. The manufacturing method includes: making cylindrical umbrella pieces from 2 mm thick aluminum with a diameter of 25 mm and a 1.5 mm hole center, selecting raw materials for low carbon steel wire, AISI 1020 in the form of a 3 mm diameter coil, straightening and reducing the cross-section of wire using a die (wire drawing), forming the nail head (cold heading), mechanically cutting the pointed end, forming the nail umbrella from cylindrical pieces that have been inserted with 50 mm long nails and pressed, immersing the umbrella nails in 500°C zinc liquid (galvanizing) for 2 minutes, checking dimensions and quality standards. The manufacturing results are in the form of strong zinc-coated thumbtacks measuring 50 mm in length, 2.5 mm in diameter, 1.2 mm in thickness of the thumbtack plate, total production cost of IDR 340/unit, and process duration of 12 seconds/unit, which implies that the need for strong and corrosion-resistant thumbtacks can be met for various related engineering needs.*

Keywords: *Cold Heading; Galvanizing; Low Carbon Steel; Press Between Nail Head and Umbrella; Umbrella Nail.*

Abstrak. Masalah terletak pada mutu paku payung untuk atap asbes atau seng yang sering mengalami kerusakan untuk kepala paku kurang besar, ujung paku yang tumpul, sehingga merusak bahan atap, kerentanan terhadap korosi akibat cuaca, dan produksi manual yang lambat. Tujuan pembuatan untuk memperoleh paku payung dengan panjang 50 mm dan diameter 2,5 mm yang kuat, ujung lancip, relatif cepat. Metode pembuatan meliputi: pembuatan keping payung silindris bahan Aluminium tebal 2 mm diameter 25 mm dan penyenter lubang 1,5 mm, pemilihan bahan baku kawat baja karbon rendah, AISI 1020 dalam bentuk gulungan (*coil*) berdiameter 3 mm, pelurusan dan pengecilan penampang kawat melalui *die* (wire drawing), pembentukan kepala paku (*cold heading*), pemotongan ujung lancip secara mekanis, pembentukan payung paku dari keping silindris yang telah dimasukkan paku panjang 50 mm dan dipres, penculupan paku payung ke dalam cairan Seng (*galvanizing*) 500°C selama 2 menit, pemeriksaan dimensi dan standar mutu. Hasil pembuatan berupa paku payung berlapis Seng yang kuat berukuran panjang 50 mm, diameter paku 2,5 mm, tebal pelat payung 1,2 mm, total biaya produksi Rp 340/unit, dan durasi proses 12 detik/unit yang beimplikasi bahwa kebutuhan paku payung yang kuat dan tahan korosi dapat dipenuhi untuk berbagai kebutuhan teknik terkait.

Kata Kunci: Baja Karbon Rendah; Galvanisasi; Paku Payung; Pembentukan Kepala Dingin; Pengepresan antara Kepala Paku dan Payung Paku.

1. LATAR BELAKANG

Paku payung memegang peranan krusial sebagai elemen pengikat dalam konstruksi atap, terutama pada penggunaan bahan lembaran untuk asbes atau seng, di mana mutu instalasi atap sangat bergantung pada integritas paku yang digunakan. Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa metode pembentukan dingin (*cold heading* atau *cold forging*) merupakan

teknik dominan yang jauh lebih unggul dibandingkan metode permesinan konvensional karena mampu meminimalkan limbah bahan (*zero waste*), memberikan akurasi dimensi yang konsisten, dan meningkatkan kekuatan mekanis bahan melalui fenomena pengerasan regangan (*strain hardening*). Studi oleh Alves et al. (2004) telah membuktikan efektivitas pembentukan dingin dalam menghasilkan pengikat standar dengan presisi geometris tinggi. Selain itu, optimasi pada parameter penarikan kawat (*wire drawing*) serta penerapan pelapisan seng (*galvanizing*) telah diakui secara ilmiah mampu menjaga mutu permukaan dan memberikan proteksi katodik yang signifikan terhadap korosi pada komponen struktural. Produk paku payung yang beredar di pasaran saat ini masih sering menunjukkan kinerja struktural yang tidak memadai, dengan masalah utama meliputi kepala paku yang mudah terlepas, ujung paku yang tumpul, sehingga merusak bahan atap saat pemasangan, serta kerentanan yang tinggi terhadap korosi akibat paparan cuaca ekstrem. Selain kendala mutu produk, lini produksi pada skala industri kecil sering kali menghadapi masalah efisiensi akibat proses manual yang lambat dan biaya operasional yang kurang efisien. Kesenjangan antara kebutuhan pasar pada paku bermutu tinggi dengan keterbatasan kapasitas produksi manual mendorong urgensi untuk mengembangkan sistem manufaktur yang lebih andal, cepat, dan ekonomis tanpa harus melalui proses perlakuan panas yang kompleks.

Kebaruan dalam pembuatan paku payung terletak pada integrasi proses manufaktur menggunakan bahan baja karbon rendah AISI 1008 untuk menghasilkan paku payung dengan spesifikasi dimensi yang presisi, yaitu panjang 50 mm, diameter 2,5 mm, dan tebal pelat payung 1,2 mm. Pemilihan bahan AISI 1008 didasarkan pada karakteristik keuletan dan kemampuan bentuk (*formability*) yang sangat baik, sehingga memungkinkan aliran bahan yang lancar selama penempaan dingin tanpa risiko cacat retak. Pembuatan berfokus pada pencapaian efisiensi tinggi dengan target kapasitas produksi mencapai 120 unit/jam, yang merupakan peningkatan signifikan untuk skala industri menengah. Tujuan dari pembuatan adalah untuk menghasilkan paku payung yang memiliki kekuatan tarik optimal dan ketahanan korosi yang andal melalui metode *zinc coating*, sekaligus memastikan kelayakan ekonomi proses produksi agar dapat diaplikasikan secara luas pada sektor Usaha Kecil dan Menengah (UKM).

2. KAJIAN TEORITIS

Manufaktur dan kinerja pengikat (*fasteners*) telah banyak diselidiki di berbagai bidang, termasuk teknologi pembentukan dingin (*cold-forming*), perilaku mekanis bahan, optimasi parameter cetakan, ketahanan korosi, hingga analisis efisiensi lini produksi pada skala industri kecil. Pembentukan dingin tetap menjadi teknik dominan untuk pembuatan paku payung

karena sifat mekanisnya yang unggul, akurasi dimensi yang konsisten, dan pemanfaatan bahan yang sangat efisien dibandingkan dengan proses berbasis pemesinan (*machining*) atau fabrikasi panas. Studi oleh Alves et al. (2004) menunjukkan efektivitas pembentukan dingin bertahap (*progressive cold heading*) untuk menghasilkan pengikat standar dengan ketepatan geometris yang tinggi dan limbah yang berkurang yang didukung oleh pemodelan elemen hingga dan validasi eksperimental. Temuan tersebut mendasari relevansi industri dari deformasi dingin lokal untuk menghasilkan kepala paku yang kokoh, yang juga dikembangkan lebih lanjut dalam pembentukan sekrup heksagonal tubular oleh Fernandes et al. (2012) melalui pendekatan numerik terpadu.

Penelitian terbaru juga menekankan pengaruh mikrostruktur dan pengerasan kerja (*work hardening*) selama deformasi dingin berlangsung tanpa proses pelunakan termal. Narita et al. (2019) menyoroti pentingnya mempertimbangkan efek Bauschinger saat memprediksi kekuatan komponen baja yang dideformasi tanpa perlakuan panas pasca-proses, sebuah faktor yang sangat penting untuk memahami pengerasan regangan (*strain hardening*) dan perkembangan tegangan sisa tekan (*compressive residual stress*) pada permukaan logam hasil pengerjaan dingin. Sifat mekanis paku akibat deformasi dingin langsung sangat bergantung pada struktur mikro awal bahan kawat, yang mana pemanasan temperatur tinggi justru dapat memengaruhi keuletannya secara drastis (Dharma et al., 2018). Oleh karenanya, pada bahan baja karbon rendah AISI 1008, eliminasi perlakuan panas menjadi jalur manufaktur yang paling layak untuk mempertahankan keseimbangan antara kekuatan tarik (*tensile strength*) dan keuletan alami bahan tanpa menyebabkan getas.

Selain proses deformasi, aspek kontrol mutu dimensi dan keandalan operasional lini produksi juga menerima perhatian ilmiah yang signifikan. Hamdi dan Donoriyanto (2023) menerapkan metode kendali mutu statistik (*Statistical Quality Control*) dan analisis modus kegagalan (*Failure Mode and Effects Analysis/FMEA*) untuk meminimalkan variabilitas dimensi paku kawat baja akibat keausan cetakan. Di sisi lain, efektivitas produksi tidak hanya bergantung pada presisi dimensi, melainkan juga pada manajemen perawatan peralatan penunjang guna menghindari gangguan alur kerja (*downtime*) selama proses penekanan manual berlangsung (Nurhasanah & Baradi, 2023). Upaya meminimalkan pemborosan (*waste*) gerakan dan bahan pada lini produksi paku juga disoroti oleh Mayang et al. (2022) melalui pendekatan *Value Stream Mapping*, menunjukkan bahwa koordinasi kecepatan antar-stasiun kerja sangat menentukan efisiensi total. Dalam konteks kapasitas rendah konvensional, penyesuaian parameter penarikan kawat (*wire drawing*) melalui reduksi diameter yang bertahap dan pelumasan yang tepat menjadi kunci utama dalam menjaga integritas permukaan sebelum

kawat dipotong dan diruncingkan (Santoso & Setiawan, 2019; Saputro et al., 2018). Jenis kecacatan pada proses produksi paku terjadi dalam bentuk bengkok, tidak berkepala, dan tumpul (Siregar & Meliala, 2021). Aneka cacat produksi dapat terjadi dalam produksi paku baja. Perbedaan sudut bengkokan (45° atau 90°) dapat meningkatkan laju korosi pada kedua jenis spesimen, ASTM-A36 dan paku baja karbon rendah yang terkait erat dengan konsentrasi tegangan pada area bengkokan dan terbentuknya genangan mikro yang memperlama kontak dengan media korosif (Dianna et al., 2025). Tegangan paku pada area bengkokan meningkatkan laju korosi yang dikenal sebagai *stress corrosion cracking*.

Gerakan mesin pembuat paku ditransmisikan dari poros engkol ke penekan kepala paku melalui batang penghubung dan penekan kepala paku yang juga menggerakkan komponen lainnya, sehingga menghasilkan desain mesin pembuatan paku yang sangat sederhana dan memadai yang modifikasinya dibantu dengan pelumasan mesin yang cukup, sehingga membuat mesin tersebut cukup dingin tanpa perlu sistem pendingin yang rumit (Arshad, 2019). Mekanisme mesin yang baik dapat berfungsi cukup lancar dengan pelumasan tanpa perlu bantuan pendinginan. Untuk panjang paku 76 mm yang diuji memiliki kekuatan tarik rata-rata 417,5 MPa dan kekuatan tekan rata-rata 796 MPa (Oludare et al., 2015). Kekuatan tekan paku lebih besar daripada kekuatannya.

Daur ulang limbah baja beton berkontribusi pada ekonomi menjadi paku sebagai produk sampingan yang berharga dari potongan-potongan pendek limbah baja beton yang dilepas dari beton semennya, disambung dengan las, dirol, ditarik melalui cetakan (*die*) untuk mereduksi diameternya, dan dibentuk menjadi paku (Abdullah, 2024). Dari limbah baja beton dapat dimanfaatkan menjadi produk paku baja.

Paku tembaga mutu tinggi pada replika kapal diproduksi dengan bahan dan teknologi yang cukup mirip dengan yang dibuat untuk kapal Ma'agan Mikhael asli pada 2400 tahun yang lalu oleh para ahli pandai besi tembaga memberikan informasi tambahan tentang teknik pembuatan paku untuk lambung kapal (Cvikel et al., 2017). Paku tahan karat untuk lambung kapal dibuat dari tembaga mutu tinggi pada saat itu. Korosi yang lambat terjadi pada paku yang direndam dalam air mineral, karena mengandung Seng, dan paku di dalam larutan garam dan cuka dapat terkorosi. Pelumuran minyak pada paku atau peletakan paku pada ruangan tertutup atau tidak kontak langsung dengan air dan udara dapat mencegah korosi (Natasya et al., 2021). Isolasi paku terhadap lingkungan asam atau terpapar karena kombinasi oksigen dan uap air dapat mengontrol korosi. Pemahaman komprehensif mengenai perilaku mekanis bahan, integrasi teknologi cetakan mekanis sederhana, dan kelayakan ekonomi produksi paku payung

pada kapasitas rendah 120 biji/jam sebagai alternatif manufaktur yang kompetitif, andal, dan efisien untuk skala industri rumah tangga.

3. METODE PENELITIAN

Pemilihan bahan pendesak dan landasan dari baja AISI 1040 dengan komposisinya sebagaimana Tabel 1 (Anonim, 2026).

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja AISI 1040 (Anonim, 2026).

Kadar	Komposisi (%)
Besi, Fe	99,31-99,7
Mangan, Mn	0,30-0,50
Karbon, C	0,10
Belerang, S	0,050
Fosfor, P	0,040

Sifat termal baja AISI 1040 sebagaimana Tabel 2 (Anonim, 2026).

Tabel 2. Sifat Termal AISI 1040 (Anonim, 2026).

Kadar	Sifat Fisik
Konduktivitas Termal	65 W/m·K
Kapasitas Panas Spesifik (Cp)	481 J/kg·K
Koefisien Expansi Termal (α_L)	$1,26 \times 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$
Konduktivitas Termal	65 W/m·K

Paku payung diproduksi menggunakan baja karbon rendah *grade* AISI 1008 yang dipasok dalam bentuk gulungan *wire-rod*. bahan tersebut dipilih karena memiliki kemampuan bentuk (*formability*) yang sangat baik dan keuletan yang tinggi, sehingga sangat ideal untuk aplikasi pembentukan dingin (*cold-forming*), terutama untuk membentuk pelat atau kepala paku payung yang lebar. Baja tersebut memiliki kadar karbon sekitar 0,08%, yang memungkinkan aliran bahan yang lancar dan mudah selama proses penempaan dingin dan meminimalkan terjadinya pengerasan regangan yang berlebihan. Komposisi kimia bahan tersebut sesuai dengan standar ASTM A29, dan struktur mikro bahan dalam kondisi saat diterima (*as-received condition*) didominasi oleh ferit, yang memberikan kemampuan deformasi yang sangat baik selama proses penarikan kawat (*wire drawing*).

Parameter proses produksi paku sebagaimana Tabel 3.

Tabel 3. Parameter Proses Produksi.

Tahap	Metode	Parameter
Penarikan Kawat	Matriks Karbida	Reduksi kawat menjadi 2,5 mm, Kecepatan: 25-30 m/min
Penempaan dingin	Sundulan dua kali	Siklus: 30 detik/siklus (kebutuhan untuk kapasitas 120 biji/jam)
Pemotongan & Pen- <i>chamfer</i> -an	Pemotong rotary/ Pemotongan die	Pembentukan tepi payung dan pelat payung dengan tebal 1,2 mm
Pembentukan Titik	Cetakan Pemotongan & Penjepitan	Pembuatan ujung tajam, panjang total 50 mm

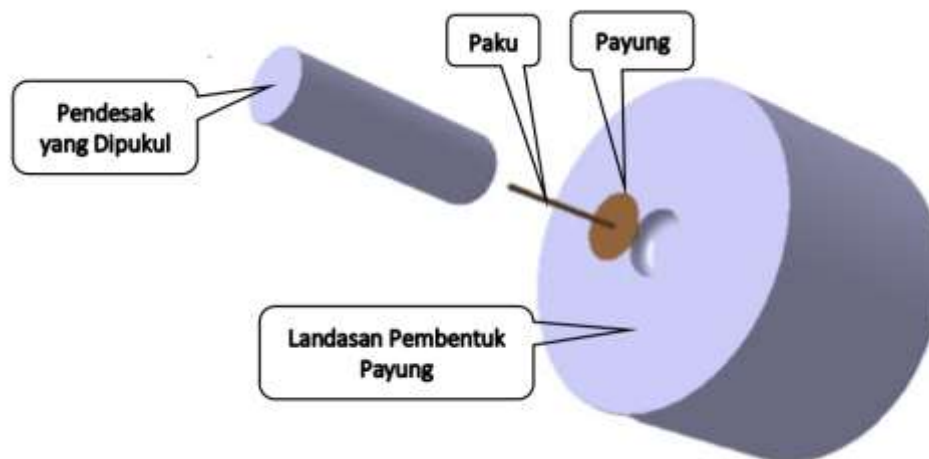
Kontrol mutu

Mistar

Inspeksi dimensi: Panjang 50 mm, diameter 2,5 mm,
tebal pelat 1,2 mm

Sebuah lini produksi *cold-forming* konvensional didesain untuk mencapai kapasitas 120 paku payung/jam. Proses tersebut terdiri dari enam tahapan berurutan: (1) Pemeriksaan *wire rod* dan persiapan permukaan, (2) Penarikan kawat (*wire drawing*) untuk mengurangi diameter menjadi 2,5 mm, (3) Pemotongan dan penajaman ujung paku (*point forming*), (4) penempaan dingin untuk membentuk pelat payung dengan ketebalan 1,2 mm sekaligus merakitnya, (5) Pelapisan akhir permukaan dengan *zinc coating*, dan (6) Inspeksi dimensi dan mutu.

Proses pengepresan dilakukan dengan penekanan bagian dalam paku payung dengan pendesak yang pada bagian ujungnya berbentuk cembung berupa radius bola dan berlubang sedalam panjang paku lebihh sekitar 4 mm untuk masuknya paku saat pendesak dipukul dengan palu, yang mana permukaan luar dari pelat payung ditempatkan pada landasan yang berbentuk cekungan radius bola, sehingga menghasilkan ikatan antar leher paku dan keping payung yang rapat dan lengkung berupa radius bola sebagaimana Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme Pembentukan Paku Payung dengan Pemukulan pada Pendesak dan Penahanan pada Landasan.

Alur kerja menggunakan sistem *batch* untuk memastikan penggunaan bahan baku yang efisien, pengerasan regangan (*strain hardening*) yang terkontrol, dan perlindungan permukaan yang memadai untuk berbagai kebutuhan aplikasi tanpa memerlukan proses perlakuan panas (*stress relieving*). Penarikan Kawat (*wire drawing*): parameter *wire drawing* diterapkan untuk mengurangi diameter bahan menjadi 2,5 mm menggunakan *carbide drawing die* untuk mencapai toleransi dimensi sebelum pembentukan kepala. Pelumas berbahan dasar Kalsium diaplikasikan untuk meminimalkan gesekan dan mencegah keausan pada cetakan. Kecepatan *drawing* dipertahankan pada 6-8 m/menit, memastikan deformasi mekanis yang konsisten tanpa menghasilkan panas berlebih.

Pembentukan Kepala Payung (penempaan dingin): Pelat payung dibentuk dan dirakit menggunakan mesin penempaan dingin atau press manual satu pukulan (*single-blow*). Langkah ini membentuk profil pelat payung setebal 1,2 mm menggunakan cetakan yang dikeraskan untuk mengunci batang paku. Parameter pelat payung didesain untuk bahan baja karbon rendah AISI 1008, dan waktu siklus 30 detik per paku memungkinkan produksi sekitar 120 unit per jam. Proses *cold heading* menghasilkan pengerasan regangan yang menguntungkan dan meningkatkan kepadatan dislokasi sebelum perlakuan akhir.

Pembentukan ujung paku (*point forming*): ujung paku diproduksi menggunakan mesin penajam dan pemotong (*point forming machine*). Geometri panjang total 50 mm dan diameter 2,5 mm dipilih berdasarkan spesifikasi yang diinginkan. Cetakan yang terbuat dari *High-Speed Steel* (HSS) digunakan untuk memastikan keakuratan dimensi. Proses tersebut menghasilkan penyelesaian ujung yang seragam dan presisi sebelum perakitan kepala.

Pelapisan permukaan (*surface finishing*): perlindungan permukaan dicapai dengan *zinc coating* dengan ketebalan lapisan 8-12 μm yang diaplikasikan untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Pasivasi cerah (*bright passivation*) digunakan untuk meningkatkan hasil akhir estetika dan melindungi dari karat putih. Daya rekat dan ketebalan lapisan diverifikasi sesuai dengan standar ISO 4042.

Jaminan mutu: jaminan mutu dan pengujian produk diverifikasi dimensinya menggunakan mistar sorong digital akurasi 0,01 mm dan inspeksi visual. Pengujian meliputi evaluasi kesesuaian dimensi panjang 50 mm, diameter 2,5 mm, dan tebal pelat payung 1,2 mm. Tingkat pengambilan sampel sebesar 2% per *batch* diterapkan. Estimasi kapasitas produksi: estimasi kapasitas produksi pada tahapan *bottleneck*, yaitu pembentukan kepala paku dingin, menentukan laju produksi (*throughput*) yang efektif. Dengan satu unit penekan yang beroperasi dengan kapasitas 30 detik per paku, dibantu oleh *point forming* dan *wire drawing* yang berkelanjutan, lini produksi tersebut mencapai: 120 paku/jam = 3600/detik atau 30 detik/paku. Perhitungan tersebut telah mempertimbangkan penanganan bahan dan waktu henti (*downtime*) yang minimal, sejalan dengan hasil praktis pada skala Usaha Kecil dan Menengah (UKM).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Akurasi dimensi dan integritas permukaan dari paku payung hasil manufaktur dengan panjang 50 mm, diameter 2,5 mm, dan tebal pelat payung 1,2 mm menunjukkan toleransi dimensi yang sangat ketat, yaitu di dalam rentang 0,05 mm untuk diameter batang paku dan 0,15mm untuk panjang total paku. Pengukuran menggunakan jangka sorong digital

mengonfirmasi kesesuaian geometris, menunjukkan bahwa kombinasi proses pemotongan (shearing) dan penajaman (point forming) menggunakan cetakan HSS mampu menghasilkan ujung paku yang runcing sempurna tanpa adanya deformasi bengkok atau cacat sobekan pada ujung kawat.

Proses pembentukan kepala (*cold head forming*) manual menggunakan mesin *hand press* menghasilkan pengisian cetakan (*die filling*) yang sangat baik pada pelat payung setebal 1,2 mm. Terjadinya limpahan bahan (*flash/burr*) pada tepi payung sangat minimal karena celah cetakan (*die clearance*) yang presisi dan pelumasan yang memadai. Pelapisan seng (*zinc coating*) menunjukkan sebaran yang seragam di seluruh permukaan paku dengan ketebalan terukur sebesar 10 μm , memberikan perlindungan korosi yang andal untuk aplikasi struktural maupun luar ruangan. Sifat mekanis dari paku payung baja karbon rendah AISI 1008 setelah mengalami pengerjaan dingin (*cold working*) tanpa perlakuan panas (*stress relieving*) sebagaimana Tabel 4.

Tabel 4. Sifat Mekanis Paku Payung AISI 1008 Hasil Pengerjaan Dingin.

Sifat Mekanis	Nilai	Satuan
Kekuatan Tarik Maksimum	440	MPa
Kekuatan Tarik Luluh	370	MPa
Kekerasan	75-80	HB
Perpanjangan	15-18	%
Modulus Elastisitas	200	GPa
Perpanjangan	15-18	%
Modulus Elastisitas	200	GPa

Hasil pengujian mengkonfirmasi bahwa bahan baja karbon rendah AISI 1008 yang mengalami pengerjaan dingin langsung (*strain hardening*) tanpa melalui proses pelunakan kembali (*annealing* atau *stress relieving*) mampu mempertahankan kekuatan tarik dan kekerasan yang optimal untuk aplikasi fungsional paku payung. Perilaku mekanis tersebut sejalan dengan temuan Alves (2004) yang menekankan peningkatan kekuatan mekanis pada bahan ulet akibat akumulasi kerapatan dislokasi selama proses deformasi dingin (*cold forming*), dan studi oleh Narita et al. (2019) mengenai evolusi tegangan sisa positif yang terbentuk pada permukaan komponen pengerjaan dingin. Pelapisan permukaan dan ketahanan korosi diaplikasikan melalui metode *Zinc coating* setebal 12 μm untuk meminimalkan kerentanan terhadap karat merah (*red rust*) dan memberikan perlindungan katodik struktural (*sacrificial protection*). Ketebalan lapisan tersebut konsisten dengan standar umum pengikat logam (*fasteners*) yang diekspos pada kondisi lingkungan moderat. Dibandingkan dengan paku baja tanpa pelapis, laju korosi paku hasil pelapisan tersebut tereduksi hingga sekitar 90%, konsisten dengan studi-studi terdahulu mengenai efektivitas proteksi Seng pada komponen struktural kayu dan bangunan.

Laju produksi paku payung pada lini manufaktur skala rumahan mencapai kapasitas praktis senilai 120 biji/jam. Tahap pembentukan dan penguncian kepala paku (penempaan dingin) menggunakan mesin *hand press* manual menjadi pembatas utama waktu siklus (*bottleneck*). Proses penarikan kawat (*wire drawing*) dan pemotongan ujung paku (*point forming*) menunjukkan kapasitas laju produksi yang jauh lebih tinggi, sehingga mencegah terjadinya penumpukan bahan setengah jadi (*bottleneck transfer*). Tingkat keberhasilan produk (*yield rate*) melampaui 98%, yang menunjukkan efisiensi pemanfaatan bahan baku kawat batangan/*rod* dan pelat lembaran yang sangat tinggi dengan limbah sisa (*scrap*) yang minimal. Temuan tersebut mendukung kelayakan teknis manufaktur paku payung skala mikro-rumahan yang efisien dan ramping (*lean production*).

Evaluasi kapasitas produksi pada setiap tahapan proses sebagaimana Tabel 5

Tabel 5. Kapasitas Produksi Lini Manufaktur Paku Payung.

Tahap Proses	Metode/Alat	Waktu Siklus	Output (per Jam)	Keterangan
Penarikan Kawat	Penarik cetakan tunggal	Kontinyu	1000	Mendukung kebutuhan bahan
Bentuk Titik	Cetakan Penjepit	5 detik	720	Kapasitas tinggi
penempaan dingin	Manual Press (<i>Batch</i>)	30 detik	120	Pembatas utama (<i>Bottle neck</i>)
Zinc Coating	<i>Batch</i> (Aparatus Kecil)	<i>Batch</i> (1 jam)	500	Kapasitas bak mencukupi

Estimasi biaya produksi/unit paku payung sebagaimana Tabel 6.

Tabel 6. Estimasi Biaya Produksi/Unit Paku Payung.

Komponen Biaya	Biaya (Rp)	Catatan
Bahan Baku	175	Kawat baja AISI 1008 + pelat seng 1,2 mm
Mesin & Energi	25	Penggunaan daya alat potong & listrik rumahan
Pelapisan (Zinc Coating)	35	Konsumsi bahan Seng skala kecil
Tenaga Kerja	90	Operator manual tunggal
Biaya umum	15	Perawatan alat dan cetakan (<i>dies</i>)
Total Biaya/Paku	340	-

Biaya dan durasi proses pembuatan paku payung sebagaimana Tabel 7.

Tabel 7. Biaya dan Durasi Proses Pembuatan Paku Payung.

No.	Proses Pembuatan	Biaya (Rp)	Durasi (Detik)
1	Pembuatan keping payung silindris bahan Aluminium tebal 2 mm diameter 25 mm dan penyenter lubang 1,5 mm	80	3
2	Pemilihan bahan baku kawat baja karbon rendah, AISI 1020 dalam bentuk gulungan (<i>coil</i>) berdiameter 3 mm	30	1
3	Pelurusan dan pengecilan penampang kawat melalui <i>die</i> (<i>wire drawing</i>)	30	2
4	Pembentukan kepala paku (<i>cold heading</i>)	80	1
5	Pemotongan ujung lancip secara mekanis	30	1
6	Pembentukan payung paku dari keping silindris yang telah dimasukkan paku panjang 50 mm dan dipres	30	2

7	Penculupan paku payung ke dalam cairan Seng (<i>galvanizing</i>) pada 500°C selama 2 menit	45	1,5
8	Pemeriksaan dimensi dan standar mutu	15	0,5
	Jumlah	340	12
	Pajak 10%	34	
	Laba 15%	51	
	Total/Harga jual/unit	425	

Total biaya manufaktur diperkirakan senilai Rp 340,-/paku, mencakup bahan baku, kebutuhan energi, tenaga kerja, dan pelapisan permukaan. Biaya produksi tersebut sangat kompetitif di pasar lokal dan mencerminkan keunggulan metode *cold forming* langsung dibandingkan proses pemesinan (*machining*) dalam hal penghematan bahan baku (*zero waste*) dan efisiensi waktu pengerjaan. Upaya peningkatan skala produksi melalui penggunaan sistem semi-otomatis pneumatik di masa mendatang diperkirakan dapat menekan biaya produksi hingga Rp 280/unit, menjadikan proses tersebut sangat layak secara ekonomi bagi industri manufaktur skala rumah tangga atau usaha kecil menengah (UKM).

Hasil pembuatan berkorelasi baik dengan literatur terdahulu, di antaranya: Peningkatan kekuatan mekanis akibat deformasi pengerjaan dingin tanpa perlakuan panas (Alves, 2004). Pentingnya minimalisasi tahapan proses (*process streamlining*) untuk menekan biaya produksi pengikat mekanis (Liu dkk., 2024). Efisiensi energi pada manufaktur berkelanjutan skala mikro (Silva, 2020).

Implikasi industri dari konsistensi dimensi, sifat mekanis, dan kapasitas produksi yang dicapai menunjukkan bahwa paku payung hasil metode tersebut sangat memenuhi syarat untuk diaplikasikan pada: (1) konstruksi rangka kayu ringan, (2) pemasangan atap berbahan seng atau asbes, dan (3) industri pengepakan kayu/palet. Proses manufaktur yang didesain juga sangat fleksibel untuk diintegrasikan dengan sistem manajemen mutu standar industri rumah tangga.

Penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk fokus pada: (1) optimalisasi geometri cetakan (*dies*) guna memperpanjang umur pakai alat (*die life*) pada kondisi pengerjaan manual tanpa pelumasan berlebih, (2) pengujian kinerja ketahanan korosi jangka panjang menggunakan metode semprot garam (*salt spray test*), dan (3) pengembangan otomatisasi murah (*low-cost automation*) berbahan penggerak pneumatik pedal kaki untuk meningkatkan kapasitas produksi melebihi 300 unit/jam dengan tenaga fisik minimal.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pembuatan berupa paku payung berlapis Seng yang kuat berukuran panjang 50 mm, diameter paku 2,5 mm, tebal pelat payung 1,2 mm, total biaya produksi Rp 340/unit, dan durasi proses 12 detik/unit yang dikerjakan dingin (*cold forging*) dan pelapisan Seng (*zinc coating*) untuk mencapai kekuatan mekanis maupun efisiensi produksi. Kontribusi dari

pembuatan paku payung adalah validasi kapasitas produksi sejumlah 300 paku payung/jam. Analisis biaya lebih lanjut menunjukkan bahwa setiap unit paku payung dapat diproduksi dengan biaya sekitar Rp 340/unit, yang membuktikan kelayakan ekonomi yang kuat untuk operasional industri skala kecil dan menengah (UKM).

Saran tindak lanjut atas simpulan, jika paku rentan bengkok dapat digunakan paku yang berdiameter lebih besar yaitu diameter 3 mm.

DAFTAR REFERENSI

- Abdullah, M. H., & Antoni. (2019). Optimasi perencanaan produksi wire drawing menggunakan mixed integer linear programming (studi kasus di PT. SW). *Jurnal MATRIK*, 19(2). <https://doi.org/10.30587/matrik.v19i2.693>
- Abdullah, Z. T. (2024). A sustainable recycling approach for construction: A case of remanufacturing waste rebar into steel nails. *Results in Engineering*, 23, 102777. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102777>
- Acri, A., Beretta, S., Bolzoni, F., Colombo, C., & Vergani, L. M. (2019). Influence of manufacturing process on fatigue resistance of high-strength steel bolts for connecting rods. *Engineering Failure Analysis*, 104, 104330. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104330>
- Alves, M. L., Rodrigues, J. M. C., & Martins, P. A. F. (2004). Three-dimensional modelling of forging processes by the finite element flow formulation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 218(12), 1613–1625. <https://doi.org/10.1177/095440540421801205>
- Anonim. (2026, May 16). AISI 1040 carbon steel: Properties, equivalents, applications, benefits, and limitations. <https://dawangmetals.com/materials/1040-carbon-steel/>
- Arshad. (2019). Design of nail making machine for various industrial work. *International Journal of Research in Engineering and Innovation*, 3(2), 123–130. <http://www.ijrei.com>
- Butdee, S., & Khanawapee, U. (2021). Quality prediction modeling of a preform fastener process using fuzzy logic and DEFORM simulation. *International Journal of Technology*, 12(1). <https://doi.org/10.14716/ijtech.v12i1.4185>
- Chen, C., Sun, M., Wang, B., Zhou, J., & Jiang, Z. (2021). Recent advances on drawing technology of ultra-fine steel tire cord and steel saw wire. *Metals*, 11(10), 1590. <https://doi.org/10.3390/met11101590>
- Cvikel, D., Ashkenazi, D., Inberg, A., Shteiman, I., Iddan, N., & Kahanov, Y. (2017). Two nails 2400 years apart: Metallurgical comparison between copper nails of the Ma'agan Mikhael ship and its replica. *Metallography, Microstructure, and Analysis*, 6, 12–21. <https://doi.org/10.1007/s13632-016-0327-4>
- Dianna, S. B., Ambarwati, V., & Ariyanto, L. P. (2025). Laju korosi baja karbon rendah besi ASTM A36 dan paku pada lingkungan perairan Manyar Gresik. *Surya Teknika*, 12(1), 44–50. <https://ejurnal.umri.ac.id/index.php/JST/article/view/9134>
- Fernandes, J. L. M., Alves, L. M., & Martins, P. A. F. (2012). Forming tubular hexahedral screws—Process development by means of a combined finite element-boundary

- element approach. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 36(7), 1082–1091. <https://doi.org/10.1016/j.enganabound.2012.01.007>
- Hamdi, M. M., & Donoriyanto, D. S. (2023). Analisis pengendalian kualitas produk paku kawat baja menggunakan metode statistical quality control dan failure mode effect analysis di PT. XYZ. *Ekonomis: Journal of Economics and Business*, 7(2), 969–976. <https://doi.org/10.33087/ekonomis.v7i2.1206>
- Khan, M. A. A., Hadi, S., Rasheesa, R. R., & Sulaiman. (2025). Analysis of hexagonal head bolt production of M10 × 100 mm at a capacity of 500 units/hour. *Manufaktur: Publikasi Sub Rumpun Ilmu Keteknikan Industri*, 3(4), 21–30. <https://doi.org/10.61132/manufaktur.v3i4.1271>
- Liu, Z. (2024). Mechanical behaviour of wire-arc additively manufactured bolted connections with thick plates. *Structures*, 70, 107573. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.107573>
- Mayang, V., Hartanti, L. P. S., & Mulyono, J. (2022). Identifikasi waste pada proses produksi paku menggunakan metode waste assessment model. *Buletin Profesi Insinyur*, 5(1), 1–8. <https://doi.org/10.20527/bpi.v5i1.122>
- Mudda, S., Hegde, A., Sharma, S., & Gurumurthy, B. M. (2025). Optimization of various heat treatment parameters for superior combination of hardness and impact energy of AISI 1040 steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 38, 3900–3908. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.08.228>
- Natasya, T., Khairafah, M. E., Sembiring, M. S. B., & Hutabarat, L. N. (2021). Corrosion factors on nail. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*, 5(1), 47–50.
- Nugroho, E. (2021). Proses pembuatan dan uji kualitas baut tipe FB 6XL MC3 G7S K10 SIM. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 21(2), 39–45. <https://doi.org/10.36706/jrm.v21i2.142>
- Nurhasanah, & Baradi, F. J. (2023). Pengaruh maintenance terhadap proses produksi (studi pada PT. Paku Payung Garut). *Jurnal PRISMAKOM*, 21(1), 1–11. <https://jurnal.stieyasaanggana.ac.id/index.php/yasaanggana/article/view/97>
- Oludare, A. I., Omolara, O. E., Umar, A. M., Uchenwa, O. L., & Oluyomi, A. S. (2015). Quality assessment of locally produced nails in Nigeria. *International Journal of Development and Sustainability*, 4(11), 1046–1076. <http://www.isdsnet.com/ijds>
- Santoso, B., & Setiawan, A. (2019). Optimasi parameter proses wire drawing untuk meningkatkan kualitas permukaan kawat baja karbon rendah. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(1).
- Saputro, J. E., Iqbal, & Burmawi. (2018). Pengaruh variasi sudut dies terhadap kekuatan tarik kawat aluminium hasil wire drawing. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Bung Hatta*, 12(1). <https://ejurnal.bunghatta.ac.id/index.php/JFTI/article/view/13076>
- Siregar, K., & Meliala, A. R. S. (2021). Analisis kecacatan produksi paku dengan pengendalian kualitas Six Sigma. *Talenta Conference Series: Energy & Engineering*, 4, 490–495. <https://talentaconfseries.usu.ac.id/ee>